

## **APLICACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO POR INUNDACIONES. SAN LUIS DEL PALMAR, CORRIENTES, RCA. ARGENTINA**

**CONTRERAS, Félix I.**<sup>1,2</sup> y **ODRIOZOLA, Mariana P.**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CONICET – UNNE)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE)

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (CONICET – UNSAM)

figcontreras@hotmail.com

### **Resumen**

Los Sistemas de Información Geográfica, mediante la aplicación de herramientas de análisis espacial derivado de los Modelos Digitales de Elevación (MDE), constituyen un recurso fundamental en el ordenamiento territorial y principalmente en la planificación urbana. El objetivo de este trabajo es delimitar áreas de riesgo de inundaciones aplicando MDE, teniendo como estudio de caso a la localidad de San Luis del Palmar (Corrientes, Rca. Argentina), la cual se ubica sobre la margen izquierda del arroyo Riachuelo, un curso autóctono tributario del río Paraná. El análisis espacial permitió delimitar con precisión el valle del arroyo, dejando en evidencia aquellas porciones de la localidad que se encuentran dentro del mismo.

**Palabras Clave:** modelos digitales de elevación - inundación - San Luis del Palmar - Corrientes.

## **APPLICATION OF THE DIGITAL ELEVATION MODELS TO THE DEFINE AREAS AT RISK OF FLOODING. SAN LUIS DEL PALMAR, CORRIENTES, ARGENTINA.**

### **Abstract**

Geographic Information Systems, by applying spatial analysis tools derived from Digital Elevation Models (DEM) is a key resource in land use planning and mainly in urban planning. The aim of this work is to define areas at risk of flooding applying DEM, taking as a case study to the town of San Luis del Palmar (Corrientes, Argentina), which is located on the left bank of the Riachuelo river, a tributary of the Parana river. Spatial analysis can accurately delineate the stream valley, revealing those portions of the town that are within it.

**Key words:** digital elevation models – flooding – San Luis del Palmar – Corrientes

## Introducción

Según Popolizio (1986), la provincia de Corrientes tiene muy baja amplitud en el relieve (unos 200 m entre sus cotas extremas: 220 y 20 m), en los extremos NE y SO respectivamente y una energía de relieve también baja a muy baja, predominando el aspecto de extensas planicies en el oeste y suaves colinas en el este. En este sentido, Herbs y Santa Cruz (1981) dividen a la provincia en dos grandes unidades, occidental y oriental, asociadas al paisaje en relación a la topografía y geología de la misma, como se puede ver en la Fig. 1.

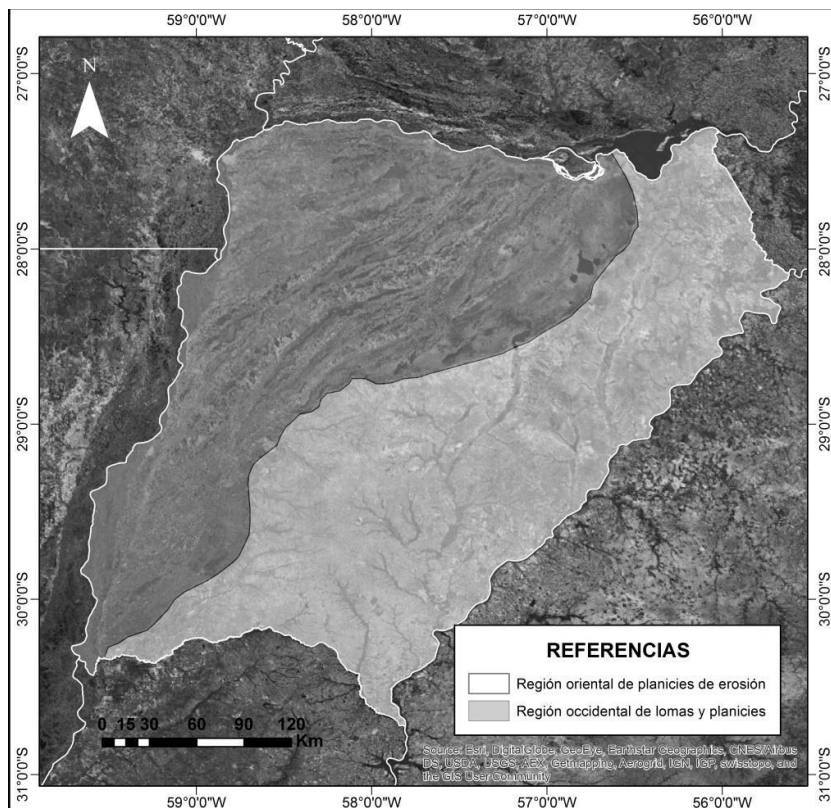


Fig. 1: Unidades topográficas y geológicas de la provincia de Corrientes  
Fuente: Herbs y Santa Cruz (1985)

En líneas generales, concuerda con la descripción fisiográfica de quien identifica dos unidades mayores, occidental y oriental, separadas por una región de esteros y lagunas del Iberá. “Sistema noroccidental de aporte al río Paraná” y de forma ligeramente triangular, limita al norte y al oeste con el área drenada por el río Paraná, en tanto que en dirección NE – SE, es colindante con el “Sistema central”. Su relieve chato es interrumpido por suaves y elongadas lomadas arenosas que no superan la decena de metros de altura y que, en su tope, poseen cuerpos lagunares de variada forma y dimensiones. La red hídrica posee escaso desarrollo y se desdibuja hacia las cabeceras dificultando el trazado de la divisoria topográfica. Es común la presencia de bañados, lagunas y esteros que, hacia sus desembocaduras se canalizan y forman arroyos con los que se relacionan difusamente. Con amplia ocupación territorial se destacan las cuencas de los arroyos Empedrado y Riachuelo observándose en el último la presencia de los esteros homónimos, donde los ambientes acuáticos ocupan el 30 % de su superficie, pudiendo extenderse hasta un 45 % durante las inundaciones (Bonetto *et al.*, 1978). Según Strahler

*El relieve topográfico, la peculiar configuración o forma de la superficie de la Tierra, es de un interés considerable para el geógrafo, ya que ejerce una influencia fundamental y de gran alcance sobre las formas de actividad humana (Strahler, 1984: 393).*

Sin embargo, los conocimientos referidos a la topografía del lugar constituyen la base de toda investigación referida al estudio, ya sea directa o indirectamente, de los paisajes, sus dinámicas y evolución; con lo cual esta información puede resultar de interés a diversas ciencias y no exclusivamente a la geografía.

En el análisis del relieve, el concepto de pendiente desempeña un papel esencial. Toda porción de la superficie presenta un declive que es necesario calcular. No existe la pendiente nula: aun un lago antiguo colmatado presenta una inclinación (Derruau, 1966). En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica, a través de los Modelos Digitales de Elevación (MDE), brindan herramientas de análisis espacial que permiten identificar estas áreas desfavorables para la instalación urbana.

En términos geográficos, al modelo se lo define “como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades” (Joly, 1988:111) que, según Felicísimo, de esta definición

*Se deduce que la versión de la realidad que se realiza a través de un modelo pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que, por lo tanto, se ve representado por otro objeto de menor complejidad (Felicísimo, 1999:3).*

Bajo esa idea, los Modelos Digitales del Terreno (MDT) se han definido “como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio” (Doyle, 1978:1481). Se incluyen, según Felicísimo (1999), en la categoría

de modelos simbólicos en los que se llega a un nivel superior de abstracción (Turner, 1970:364) donde las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto tienen la forma de algoritmos o formalismos matemáticos. En este caso, los MDT presentan algunas ventajas sobre el resto de los modelos derivados de su naturaleza numérica: no ambigüedad, posibilidad de modelización de procesos con una deducción estricta, verificabilidad y repetitividad de los resultados. Sin embargo, Felicísimo menciona que la definición de Doyle (1978) es ambigua y define a los MDT como “una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua” (Felicísimo, 1999:5).

Dentro de los MDT, el MDE es uno de los más representativos ya que, según Felicísimo, describe la altimetría de un lugar mediante una serie de datos acotados que sirven de base para construir un conjunto de modelos derivados, elaborados a partir de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE. “Los modelos derivados más sencillos pueden construirse exclusivamente con la información del MDE y reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación, etc.)” (Felicísimo, 1999:5).

La localidad de San Luis del Palmar (provincia de Corrientes, República Argentina) se ubica a 20 km al este de la ciudad de Corrientes, sobre la margen izquierda del arroyo Riachuelo. Esta localidad presenta recurrentes casos de inundaciones en periodos húmedos, principalmente luego de intensas precipitaciones. En este sentido, el arroyo Riachuelo, cuyo caudal oscila entre 29 y 50 m<sup>3</sup>/seg y su nacimiento se encuentra en un estero homónimo que, al ser reducido, la respuesta del caudal del río a las inclemencias del tiempo es casi inmediata y las consecuencias repercuten en pérdidas materiales (Fig. 2).



Fig. 2: Fotografía de la inundación en San Luis del Palmar (Corrientes, Rca. Argentina), luego de intensas precipitaciones en marzo de 2014. Fuente: (S/Encinas, 22 de jul. de 2016),

Ante lo expuesto, el objetivo de este trabajo es utilizar los MDE para la generación de una cartografía de riesgo de inundación de San Luis del Palmar (Corrientes, Argentina), no solo para comprender y explicar los reiterados casos de inundaciones, sino para que, a su vez, sea considerada en la toma de decisiones en la planificación urbana.

### Área de estudio

El departamento de San Luis del Palmar se ubica al NW de la provincia de Corrientes (Rca. Argentina) (Fig. 3) cuyo paisaje se caracteriza por ser muy anegadizo, principalmente al este debido a la presencia de grandes extensiones de esteros, los cuales escurren de E a W, convirtiéndose en cursos autóctonos como lo son los arroyos Riachuelito y Riachuelo; el primero tributario del segundo.

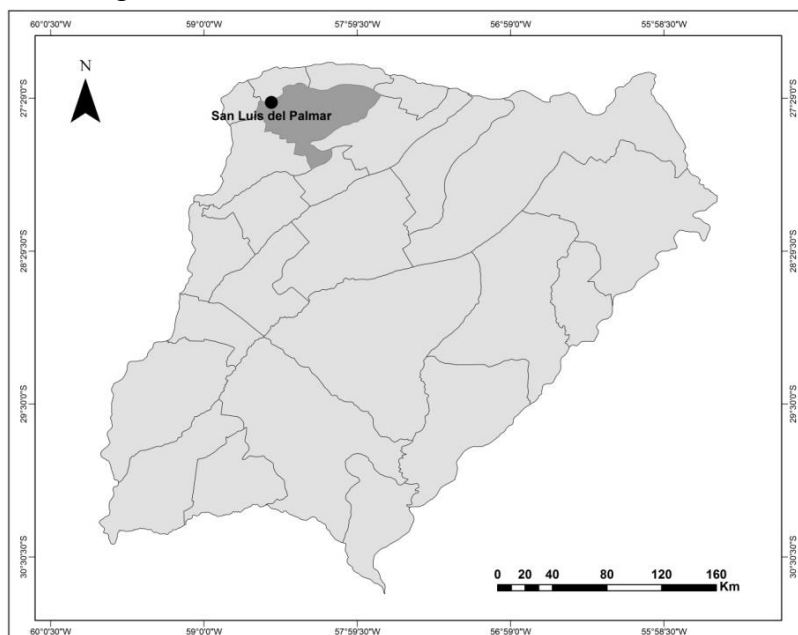


Fig. 3: Ubicación de la localidad de San Luis del Palmar (Corrientes, Rca, Argentina)

Los mencionados cursos de agua conforman un interfluvio en el cual se asienta la localidad de San Luis del Palmar (capital departamental) ubicada sobre la margen izquierda del arroyo Riachuelo (Fig. 4), cuyo caudal, según Poi y Galassi, (2007) es de 29 y 50 m<sup>3</sup>/seg.



Fig. 4: Localidad de San Luis del Palmar (San Luis del Palmar, Corrientes, Rca. Argentina)

### Materiales y métodos

Para generar un MDE, mediante el software Global Mapper 15.1, se ha descargado la imagen Shettle Radar Topography Mission (SRTM por su siglas en inglés) de 3 arcos por segundo (resolución de 90 m) de la localidad de San Luis del Palmar. Posteriormente fue exportada como un archivo ráster en formato GeoTIFF, para luego ser analizado mediante las herramientas de *Análisis Espacial* del software ArcGIS 10.1.

Con la herramienta *Análisis Espacial, Superficie, Contorno* se han generado curvas de nivel con una equidistancia de 1 m a fin de poder delimitar el valle de inundación del arroyo Riachuelo.

En un paso siguiente, al MDE generado se le superpusieron las imágenes de alta definición suministradas por el World Imagery, permitiendo discriminar aquellos sectores de la localidad de San Luis del Palmar que se encontraban bajo riesgo de inundación y/o anegamiento por encontrarse dentro del valle de inundación.



A partir de la información generada, se han confeccionado cartografías temáticas de riesgo por inundación de la localidad.

## Resultados

El MDE del contexto ambiental de la localidad de San Luis del Palmar permite visualizar los valles del arroyo Riachuelo al norte de la localidad, del Riachuelito al sur y la confluencia de ambos al oeste (Fig. 5).

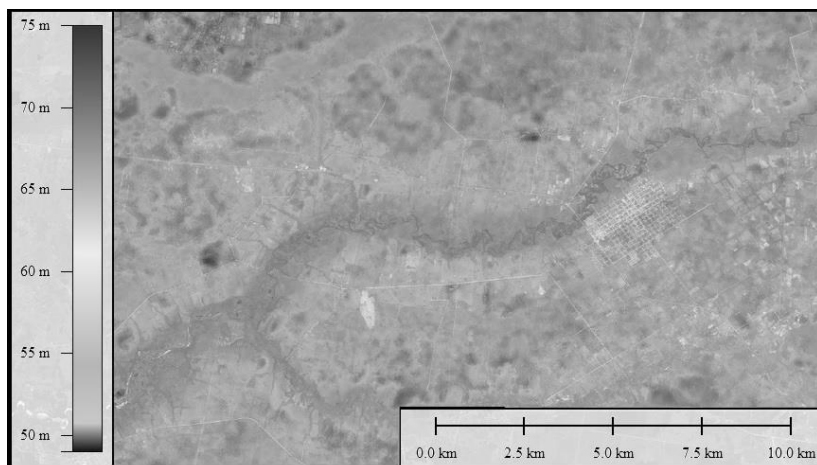


Fig. 5: Modelo digital de elevaciones del contexto ambiental de la localidad de San Luis del Palmar (Corrientes, Rca. Argentina).

En la Fig. 6 se observa la delimitación del valle de inundación del arroyo Riachuelo a partir de la curva de nivel de 61 m generada en ArcGIS 10.1 y las 48 manzanas del ejido urbano que quedan dentro de él.

## Discusión

La ciudad de Corrientes posee antecedentes provinciales relacionados con el crecimiento del ejido urbano sobre cursos autóctonos y áreas anegables que, según Contreras y Fantín (2015), al no presentar lugares propicios para su extensión en todas las direcciones, conlleva a que, aquellos sitios más favorables sean muy demandados y, en consecuencia, aumente el valor de la tierra asociado a la especulación inmobiliaria. A partir de allí se ocupan espacios que naturalmente son anegables, aumentando la exposición de la población luego de lluvias intensas, frente a riesgos de pérdidas materiales, difíciles o imposibles accesos y/o movilidad y, en algunos casos, la carencia a de servicios básicos.

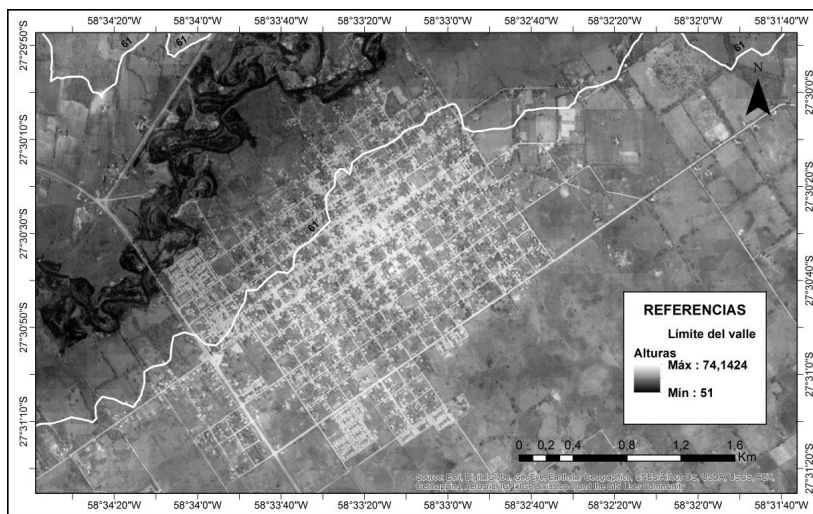


Fig. 6: Modelo digital de elevaciones del contexto ambiental de la localidad de San Luis del Palmar (Corrientes, Rca. Argentina).

A su vez, Contreras y Fantín (2015) mencionan que históricamente la ciudad ha mostrado distintos problemas de anegamientos luego de producirse intensas precipitaciones. No obstante, se pueden diferenciar dos situaciones principales. Por una parte, el casco histórico de la ciudad presenta escurrimientos torreñticos en las calles trazadas sobre antiguos arroyos. Por la otra, fuera del casco histórico, la ocupación de espacios anegadizos, ya sea sobre las planicies embutidas o sobre los que pertenecían a las lagunas, genera importantes volúmenes de agua estancada en distintos barrios y vías de comunicación de la ciudad. De todas maneras, ambas situaciones están relacionadas con el riesgo de pérdidas materiales, principalmente de vehículos, mientras que en la ocupación de nuevos espacios, sin antecedentes, las pérdidas materiales se encuentran relacionadas a daños en las viviendas sin importar la condición social de la población expuesta.

En función de la gran distribución de ríos, esteros, cañadas y lagunas que posee la provincia de Corrientes se pueden distinguir tres tipos de riesgos relacionados con las inundaciones y anegamientos. En primer lugar las *inundaciones por desborde de los ríos Paraná y Uruguay* (Tipo de riesgo 1), principales cursos de agua. En segundo lugar los riesgos de *inundaciones y anegamientos de cursos autóctonos* (Tipo de riesgo 2), los cuales son tributarios de los anteriormente mencionados y, por último, *el anegamiento de áreas deprimidas* (Tipo de riesgo 3) correspondientes a paleocauces, esteros, cañadas, lagunas, etc.



La localidad de San Luis del Palmar presenta *riesgos de inundaciones y anegamientos de cursos autóctonos* relacionados con el valle de inundación del arroyo Riachuelo hacia el oeste (Fig. 7) y *anegamientos de áreas deprimidas* hacia el este debido a la presencia de bañados.

Para ambos tipos de riesgo la intensidad de las precipitaciones locales es sumamente importante, ya que nos encontramos frente a extensas áreas de drenaje pobremente organizado y con numerosos cuerpos de agua que se segmentan cuando existe de bajo a medio nivel de agua.

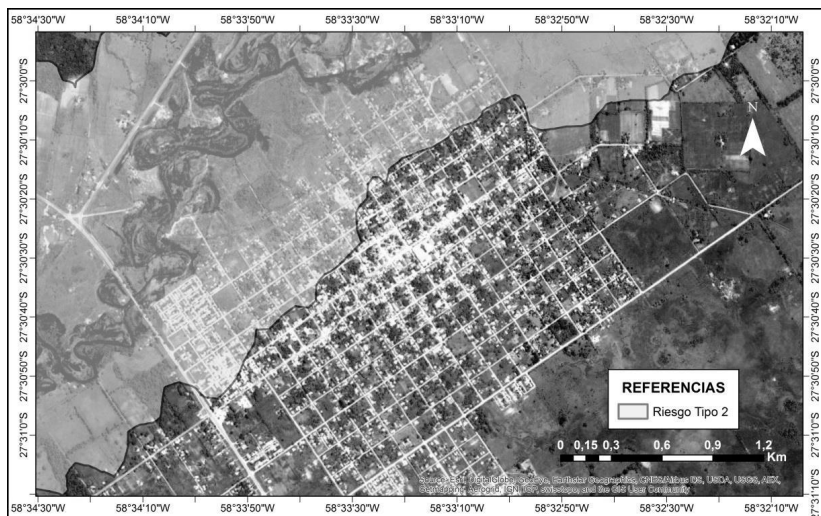


Fig. 7. Delimitación de áreas de riesgo de inundaciones y anegamientos de cursos autóctonos. San Luis del Palmar (Corrientes, Rca. Argentina)

La presencia de una capa impermeable cerca de la superficie o hasta decenas de metros por debajo se manifiesta, según Neiff y Malvárez (2004), en la fase de acumulación (o saturación), y la de anegamiento cuando la lluvia excede la capacidad de almacenamiento del suelo. El exceso de agua en el paisaje proviene de lluvias locales.

Como lo mencionan Vidal y Romero

*Si existiera una la planificación y gestión de los espacios urbanos bajo reales conceptos de sustentabilidad, serían resguardados los lechos y bordes de ríos, esteros, canales y humedales, debido a los innumerables bienes y servicios ambientales que ofrecen a la sociedad y para proteger a las poblaciones ribereñas* (Vidal y Romero, 2010: 1)

En acuerdo con los autores, esto impediría la ocupación urbana sobre ellas en forma obligatoria, además de brindar protección a la naturaleza y la biodiversidad y, por sobre todo, seguridad a la población frente a las amenazas naturales, tales como inundaciones y anegamientos.

La principal razón de ocupación de áreas desfavorables, en este caso, sobre un valle de inundación, se encuentra relacionada a los ciclos de dos años húmedos y dos secos que se manifiestan en la región. La necesidad de ocupación de nuevos espacios y la falta de un estricto control del mismo, conlleva a que la población se instale en lugares altamente riesgosos, siendo uno de los principales motivos, los bajos costos del valor del suelo que ellos ofrecen. Sin embargo, el riesgo de inundación no lo estarían generando únicamente las precipitaciones locales, sino también las crecientes del río Paraná, cuyas aguas ingresan a través del Riachuelo inundando el valle de este último. Del mismo modo, un período de altas aguas del río Paraná impediría que el Riachuelo desagüe sus aguas, acumulándolas y generando la situación recientemente mencionada. Es por ello que las localidades ubicadas a orillas de cursos autóctonos representan un gran riesgo para la población.

## Conclusiones

La necesidad de ocupación de nuevos espacios debido al crecimiento espacial de las ciudades muchas veces dejan expuestas a la población que se instala áreas riesgosas debido a, entre otras cosas, la especulación inmobiliaria y a los reducidos valores del suelo de estos lugares.

En este sentido, la falta de un ordenamiento territorial, de una planificación urbana que contemple la ubicación de estos lugares riesgosos o bien, la inexistencia de un control riguroso que regule estas variables, son las principales responsables de los eventuales desastres o la concreción de algún determinado riesgo.

Los paisajes de la provincia de Corrientes se encuentran modelados por el agua y su presencia, ya sea en cuerpos de agua lénticos y/o lóticos, *a priori* no deberían exponer a la población. Sin embargo, la presencia de períodos húmedos y secos de aproximadamente dos años cada uno, sumados a la especulación inmobiliaria serían los principales responsables de exposición. En este sentido, la falta de precipitación deja libres de agua a extensas áreas anegables, explicación por la cual las ciudades tienen un rápido crecimiento espacial en años secos con severas consecuencias al retornar el período húmedo.

La localidad de San Luis del Palmar no escapa a la situación mencionada. Su crecimiento espacial hacia el interior del valle de inundación del arroyo Riachuelo ha generado que 45 manzanas de su diseño urbano se encuentren en continuo riesgo de sufrir inundaciones y anegamientos. En relación a lo expuesto, se pueden manifestar las siguientes situaciones:

*Inundaciones por las crecientes del arroyo Riachuelo* como resultado de las intensas precipitaciones locales;

*Inundaciones por las crecientes del río Paraná*, el cual ingresa por el valle del Riachuelo,

*El anegamiento* producido por intensas lluvias, que puede verse potenciada por las crecientes del río Paraná que, al saturar el sistema, imposibilita el drenaje del agua caída.

Los Modelos Digitales de Elevación y las herramientas de análisis espacial de los sistemas de información geográfica, constituyen un recurso fundamental en la toma de decisiones y en la generación de cartografías de riesgo que sirvan para:

- Tomar medidas de prevención que eviten el crecimiento de las ciudades en áreas de riesgo;
- La toma de decisiones sobre el accionar en protocolos de manifestarse inundaciones como la evacuación de personas;
- La toma de decisiones sobre obras de ingeniería que mitiguen los riesgos.

## Referencias

- Bonetto, A., Roldán, D. y Oliver, M. (1978). "Estudios limnológicos en la cuenca del Riachuelo. Poblaciones de peces en ambientes leníticos y lácticos". *Ecosur*, 5 (9): 1–15.
- Contreras, F. I. y Fantín, M. A. (2015). "El riesgo de la población a inundaciones por lluvias como consecuencia de la dinámica de expansión urbana sobre paisajes anegadizos. El caso de la ciudad de Corrientes (Argentina)". *Folia Histórica del Nordeste*, 23:97–112.
- Derruau, M. (1966). *Geomorfología*. Ediciones Ariel, Barcelona.
- Doyle, F. 1978. "Digital terrain models: an overview". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 44 (12):1481-1485.
- Felícísimo, Á. (1999). *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones a las ciencias ambientales*. Biblioteca de Historia Natural, 3. Pentalfa Ediciones, Oviedo
- Herbst, R. y Santa Cruz, J. 1985. "Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes". *D'Orbignyana*. 2:1-69.
- Joly, F. (1988). *La cartografía*. Oikos-Tau, Barcelona
- Neiff, J. y Malvárez, A. 2004. "Grandes Humedales fluviales". Malvárez, A y Bó, F. (Eds.) *Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina*. Talleres Gráficos Leograf S.R.L. (77 – 88)
- Poi, A. y Galassi, M. (2013). "Humedales del noroeste de Corrientes". En: Benzaquén, L.; Blanco, D.; Bó, R.; Kandus, P.; Lingua, G.; Minotti, O.; Quintana, R.; Sverlij, S. y Vidal, L. (Eds.). *Inventario de Humedales de Argentina: Sistemas de paisajes de humedales del Corredor Fluvial Paraná – Paraguay* (215–221).
- Popolizio, E. (1986). "Influencia del sistema geomorfológico en las crecientes e inundaciones del nordeste argentino". *Geociencias*. 14. P. 28.

- S/Encinas (22 de jul. de 2016), Diario El Litoral de Corrientes <http://www.ellitoral.com.ar/301956/Dragado-defensas-y-desagues-pluviales-obras-que-urgen-para-evitar-inundaciones> acceso 10/03/2016.
- Strahler, A. (1984). *Geografía Física*. Ediciones Omega S. A. Barcelona.
- Turner, J. (1970). *Matemática moderna aplicada. Probabilidades, estadística e investigación operativa*. Alianza Editorial, Madrid.
- Vidal, Claudia y Romero Hugo. (2010). “Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Biobío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción”. En Pérez, L. e Hidalgo, R. (Eds.). *Concepción metropolitano (AMC). Planes, procesos y proyectos*. Serie Geolibros, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. URL: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118084> acceso 10/03/2016